

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PEMANAS INDUKSI DENGAN METODE *PANCAKE COIL* BERBASIS MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535

Yukovany Zhulkarnaen

Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya

Dosen Pembimbing : Ir. Wijono, MT., Ph.D., Drs. Ir. Moch Dhofir, MT

Email : yukoke2000@yahoo.com

Abstrak – Adanya peluang dalam membuat produk akhir pemanas induksi perlu didahului dengan pembuatan *prototype*. Namun sebelum membuat *prototype* perlu diawali dengan membuat desain dan melakukan riset pemanas induksi. Dalam skripsi ini dirancang sebuah pemanas induksi dengan koil berbentuk *pancake coil* dan berbasis mikrokontroler ATmega 8535. Dengan adanya mikrokontroler dan perangkat elektronika, besarnya nilai frekuensi kerja dapat diubah-ubah dan dapat dilakukan pengujian untuk mengetahui responnya terhadap karakteristik panas yang dihasilkan. Selain itu hasil pengujian dapat digunakan untuk menghitung besarnya energi elektrik, energi kalor, dan efisiensi energi dari pemanas induksi yang dirancang. Pemanas induksi dirancang resonansi di 40kHz. Hasil pengujian menunjukkan perubahan frekuensi kerja pada pemanas induksi memiliki pengaruh pada waktu pencapaian panas, besarnya daya, energi elektrik, dan efisiensi energi. Naiknya frekuensi kerja mendekati 40 kHz membuat waktu pencapaian suhu relatif lebih lama dan setelah melewati 40 kHz menjadi relatif lebih cepat.

Kata Kunci : Pemanas Induksi, *Pancake Coil*, ATmega 8535, *Eddy Current*.

I. PENDAHULUAN

Pemanas induksi merupakan salah satu produk teknologi yang sudah lama dibuat dan digunakan di dalam industri maupun rumah tangga. Pada masa Perang Dunia II, teknologi ini juga digunakan untuk keperluan peleburan dan pembentukan logam di dalam industri senjata dan alat-alat perang.

Teknologi yang digunakan di dalam peralatan ini terus berkembang dari masa ke masa. Pada masa lalu, pemanas induksi menggunakan teknologi yang sederhana. Pada umumnya produk tersebut berdimensi yang besar dan mahal. Dengan berkembangnya teknologi elektronika daya, pemanas induksi dapat dibuat dengan dimensi yang kecil, *compact*, dan lebih murah.

Salah satu bentuk pemanas induksi yang kita temukan dalam kehidupan sehari-hari adalah kompor induksi. Kompor jenis ini tidak banyak digunakan di Indonesia dan belum ada produsen yang memproduksinya secara masal. Sebaliknya di negara maju, benda ini sudah jamak ditemui.

Pemanas induksi yang berbasis elektronika daya memiliki keterkaitan erat dengan frekuensi kerja, nilai tegangan dan arus masukan, dan bentuk benda yang akan dipanaskan. Masing-masing faktor tersebut memiliki pengaruh terhadap karakteristik panas yang dihasilkan. Dengan menggunakan mikrokontroler dan elektronika daya, faktor-faktor tersebut dapat diubah

nilainya sehingga memungkinkan untuk pengujian karakteristik panas.

Penulis melihat peluang dalam membuat produk akhir pemanas induksi ini dan sebelum itu diperlukan *prototype*. Namun di sini penulis baru akan mengawali dengan membuat desain dan melakukan riset pemanas induksi.

Penulis ingin melakukan riset pemanas induksi sendiri dengan komponen elektronika daya dan dengan koil berbentuk *pancake coil*. Selain perancangan dan pembuatan pemanas induksi ini, penelitian akan dilakukan dengan mengubah-ubah besaran tertentu seperti frekuensi dan arus masukan dan dikaitkan pengaruhnya terhadap suhu yang dihasilkan pemanas induksi. Perancangan dan pembuatan pemanas induksi ini didasarkan pada teori *induction heating* dan hasil pengujiannya dianalisa berdasarkan teori yang ada.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Prinsip Kerja Pemanas Induksi

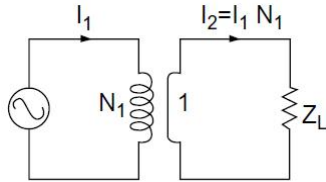
Pemanasan Induksi (*Induction Heating*) pada prinsipnya dapat dijelaskan dengan prinsip kerja transformator. Transformator bekerja karena adanya fenomena induksi elektromagnetik yang mana ketika ada suatu rangkaian tertutup yang di dalamnya mengalir arus AC menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah pula. Seperti yang terjadi transformator, medan elektromagnetik (pada kumparan primer) yang berubah-ubah tersebut mempengaruhi kumparan sekunder dan pada kumparan sekunder timbul ggl induksi dan mengalir arus AC jika kumparan sekunder merupakan rangkaian tertutup.

Besarnya arus pada kumparan sekunder (I_2) ditentukan dari besarnya arus pada kumparan primer (I_1) dan perbandingan lilitan antara kumparan primer dan sekunder (N_1/N_2). Seperti pada Gambar 1, ketika kumparan sekunder kita ganti dengan 1 kawat ($N_2=1$) dan dijadikan rangkaian tertutup, maka kita akan mendapatkan nilai perbandingan lilitan yang besar dari kumparan primer dan sekunder dan akan menimbulkan arus sekunder (I_2) yang besar. Hal ini juga akan diikuti oleh kenaikan panas yang cukup besar karena adanya kenaikan beban tersebut.

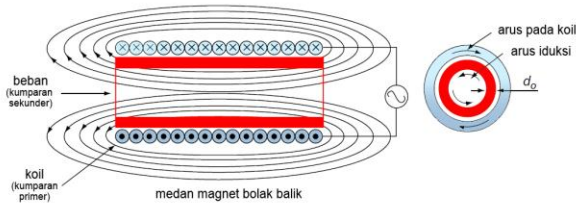
B. Arus Pusar (*Eddy Current*)

Jika sebuah logam ditempatkan di dalam suatu kumparan elektromagnetik dan dialiri arus AC, maka akan timbul ggl (gaya gerak listrik) induksi di dalam logam tersebut. Di dalam logam tersebut terdapat banyak jalur konduksi yang terdiri dari aliran gaya gerak listrik induksi dalam jalur tertutup. Arus induksi

dalam jalur tertutup ini dinamakan arus pusar (*Eddy Current*).



Gambar 1. Cara Kerja Transformator dengan Kumparan Sekunder Diganti 1 Kawat



Gambar 2. Proses Induksi dari Kumparan Primer ke Kumparan Sekunder

C. Penurunan Persamaan Daya Pemanas Induksi untuk Masukan Sinyal Kotak dan *Pancake Coil*

Untuk menentukan spesifikasi pemanas induksi dapat dihitung berdasarkan penurunan persamaan tegangan dan arus masukan hingga dapat ditentukan daya dan energi elektrik maupun energi kalornya. Tegangan masukan yang dirancang merupakan sinyal kotak dengan amplitude 12 volt. Dengan menggunakan deret fourier, persamaan tegangan dan arus masukan dapat diturunkan dan dihitung sehingga didapatkan persamaan daya sebagai berikut.

$$P_{\text{eddy total}} = \frac{9,61967 \cdot 10^{-4} \cdot \pi^3 f^2 b}{\rho \cdot Z_{\text{coil}}^2} \text{ (Watt)} \quad (1)$$

Energi yang dibutuhkan oleh pemanas induksi selama waktu t adalah :

$$W = P_{\text{eddy total}} \cdot t \text{ (Joule)} \quad (2)$$

Energi yang dibutuhkan oleh pemanas induksi dari suhu T_1 sampai T_2 adalah :

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \text{ (Joule)} \quad (3)$$

Kemudian besarnya efisiensi energi dapat dihitung sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Q}{W_{\text{in}}} \times 100\% \quad (4)$$

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

A. Penentuan Spesifikasi Alat

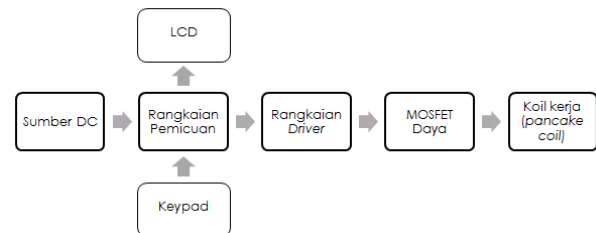
Spesifikasi alat secara keseluruhan ditentukan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut :

- Benda kerja yang dipanasi terbuat dari bahan *stainless steel* dengan ketebalan 0.5 mm dan berbentuk lingkaran dengan diameter 10 cm.
- *Pancake coil* dibuat dari bahan tembaga berbentuk pipa (bagian dalam berlubang) dengan diameter 5 mm. Setelah *pancake coil* dililit menyesuaikan dengan dimensi benda kerja didapatkan 8 lilitan.
- Frekuensi kerja pemanas induksi pada frekuensi 25 kHz sampai 50 kHz.
- Frekuensi resonansi pada 40 kHz.

- Daya pemanas induksi pada kisaran 6 watt sampai 24 watt (sesuai perhitungan pada persamaan 2-14)
- Menggunakan minimum sistem ATmega 8535
- Menggunakan IR2110 sebagai *driver switching* mosfet dengan $\text{time rise}=35 \text{ ns}$ dan $\text{time fall}=25 \text{ ns}$ dan $V_{B \text{ max}} = 525 \text{ V}$.
- Menggunakan MOSFET daya IRF3205 dengan $V_{DSS}=55 \text{ V}$ dan $I_D=110 \text{ A}$.
- Menggunakan LCD modul LMB162AFC untuk menampilkan frekuensi dan *duty cycle*.
- Menggunakan keypad 4x4 untuk *setting* frekuensi dan *duty cycle*.
- Menggunakan koil kerja berbentuk *pancake coil*.
- Menggunakan benda kerja yang terbuat dari *stainless steel*, berbentuk lingkaran pipih dengan diameter 10cm , dan ketebalan 0.5 milimeter.
- Pemanas induksi diuji pada frekuensi kerja 25,30,35,40,45,dan 50 kHz.
- Menggunakan *SMPS (Switch Mode Power Supply)* sebagai sumber tegangan.

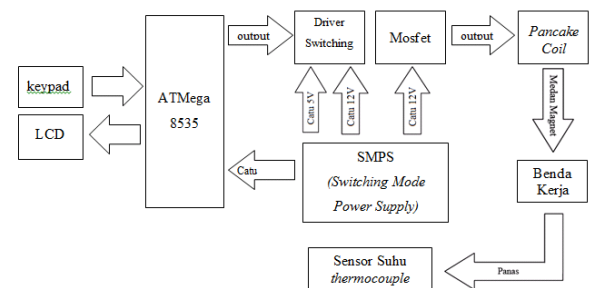
B. Perancangan Alat

Perancangan ini didasarkan pada diagram blok yang ditunjukkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok sistem secara keseluruhan

Sementara diagram alir sistem kerja keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir keseluruhan sistem

- ATmega 8535 sebagai pengendali utama.
- *SMPS (Switch Mode Power Supply)* sebagai sumber tegangan (sumber DC).
- *Driver switching* digunakan untuk meneruskan keluaran mikrokontroller berupa gelombang kotak frekuensi tinggi ke *gate* dari MOSFET.
- MOSFET digunakan sebagai saklar elektronik.
- Keluaran dari MOSFET dihubungkan ke *pancake coil*.
- *Pancake coil* merupakan tempat munculnya

medan magnet frekuensi tinggi yang akan menginduksi benda kerja.

- Benda kerja berupa logam *stainless steel* yang dikenai medan induksi dan kemudian muncul panas pada benda kerja tersebut.
- Sensor suhu *thermocouple* membaca kenaikan suhu benda kerja.
- *LCD* untuk menampilkan nilai frekuensi dan *duty cycle* yang diinginkan.
- *Keypad* untuk memasukkan nilai frekuensi dan *duty cycle* yang diinginkan.

C. Perancangan Perangkat Keras

1) Perancangan Koil Kerja (*Pancake Coil*)

Pancake coil dibuat dari bahan tembaga yang baik dalam mengalirkan arus listrik. Sementara bentuknya dipilih tembaga yang berbentuk pipa (bagian tengah berlubang) mengingat fenomena *skin effect* (efek kulit) yang membuat arus hanya akan lewat pada bagian kulit tembaga. Bentuk fisik dari pipa tembaga tersebut dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Pipa tembaga untuk *pancake coil*

Kemudian pipa tembaga diberi selubung nilon sebagai isolator listrik dan panas untuk menjaga antar bagian lingkaran tembaga tidak saling konduksi dan menghindari kontak panas dan listrik tembaga dengan benda kerja. *Pancake coil* yang dibuat memiliki dimensi diameter dalam (d_{in}), diameter luar (d_{out}), dan banyak lilitan (n) sebagai berikut.

Tabel I Ukuran *pancake coil*

Diameter Dalam (m)	Diameter Luar (m)	Banyaknya Lilitan
0,03	0,1	8



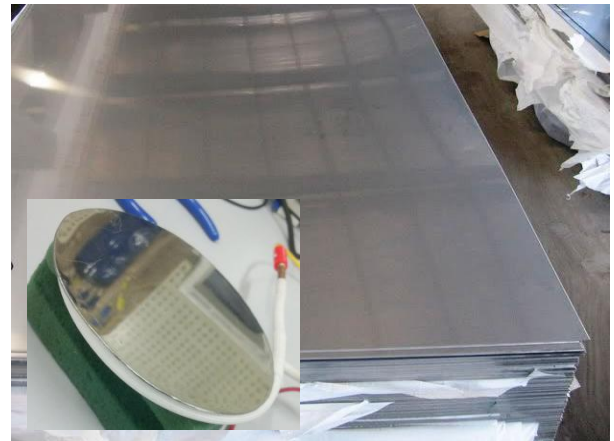
Gambar 6. *pancake coil* yang digunakan untuk percobaan

2) Perancangan Benda Kerja

Benda kerja merupakan bagian yang diinduksi/merasakan induksi medan magnet frekuensi tinggi dari *pancake coil*. Benda ini dibuat dengan bahan

stainless steel karena memiliki permeabilitas magnetik relatif yang cukup besar yaitu 2000 ($\mu_r = 2000$) sehingga baik dalam menghantarkan garis-garis gaya magnet dan berpotensi menghasilkan panas yang cukup besar.

Stainless steel yang digunakan memiliki ketebalan 0.5 milimeter dan berbentuk lembaran seperti pada Gambar 4.10 sebagai berikut. Bahan tersebut dipotong sehingga membentuk lingkaran dengan diameter 10cm (0,1m) seperti yang ditunjukkan Gambar 7.

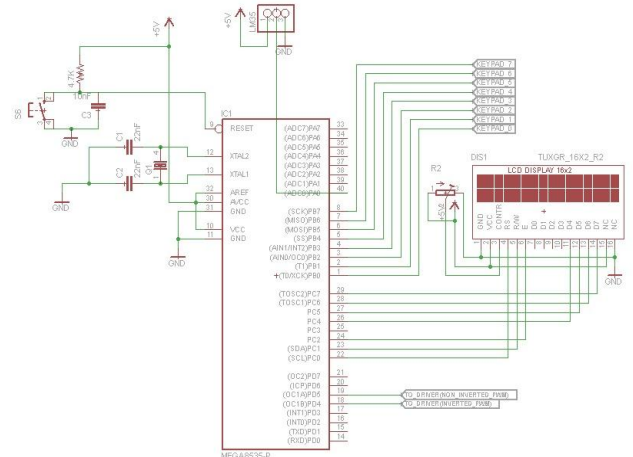


Gambar 7. *Stainless steel* lembaran

3) Perancangan Sistem Minimum ATmega 8535

Pemroses utama dalam sistem ini adalah sebuah mikrokontroler *Atmega8535*. Fungsi dari mikrokontroler pemroses utama adalah sebagai pemroses data *keypad*, mengatur keluaran frekuensi melalui pin *timer*, serta mengatur keluaran LCD. Rangkaian mikrokontroler pemroses utama ditunjukkan dalam Gambar 8.

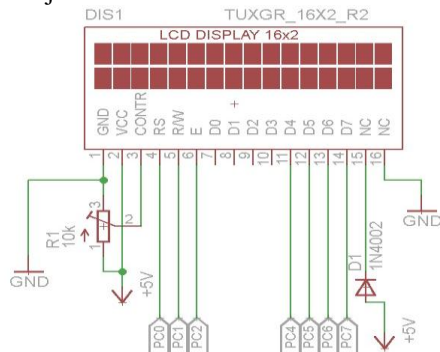
Perancangan rangkaian mikrokontroler pemroses utama disesuaikan dengan jenis pengaturan perangkat keras lainnya. Untuk kebutuhan driver *IR2110* dibutuhkan dua jenis sinyal keluaran yang mempunyai frekuensi sama dengan logika keluaran yang berlawanan. Maka digunakan pin *timer* 1 *ATMega* 8535 yaitu PD5 dan PD4 (OC1A dan OC1B). Dan untuk berkomunikasi dengan modul LCD karakter, maka digunakanlah jenis komunikasi paralel.



Gambar 8 Perancangan Rangkaian Mikrokontroler Pemroses Utama

4) Perancangan Rangkaian Antarmuka *LCD* Karakter

Modul LCD karakter dalam sistem ini akan diakses langsung oleh mikrokontroler (Atmega8535) pemroses utama sebagai perangkat penampil. Untuk dapat diakses oleh mikrokontroler pemroses utama, maka di dalam sistem ini dirancang rangkaian antarmuka modul LCD. Rangkaian antarmuka modul LCD ditunjukkan dalam Gambar 9



Gambar 9 Perancangan Rangkaian Antarmuka Modul LCD

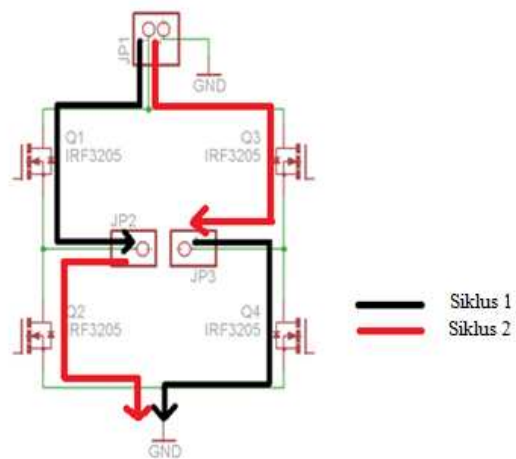
Terdapat tujuh pin penting yang dihubungkan ke mikrokontroler pengatur utama yaitu RS (*Register Select*) ke PC0, RW (*Read/Write*) ke PC1, E (*Enable*) ke PC2, dan jalur data D4-D7 ke PC4-PC7.

Pin ke-3 dari modul LCD digunakan untuk mengatur ketajaman dari karakter yang dimunculkan oleh LCD. Untuk memudahkan dalam mengatur ketajaman, maka pada pin ke-3 tersebut dipasang variabel resistor dengan nilai 10 k Ω . Sedangkan pin ke-15 digunakan untuk mengatur *back light* LCD. Pada kaki tersebut dipasang dioda 1N4002 agar tegangan yang masuk pada pin tersebut sesuai dengan rentang nilai tegangan *backlight* yang diizinkan yakni berkisar 4-4,3 V DC.

5) Perancangan Driver Switching IR2110

Untuk membangkitkan sinyal AC (*alternating current*) dengan kemampuan arus yang besar maka dibutuhkan perancangan rangkaian *driver switching* yang dipicu oleh mikrokontroler sebagai pembangkit sinyal pulsa. Dalam perancangan rangkaian *driver switching* pada alat pemanas induksi ini menggunakan IC IR2110 sebagai *driver* rangkaian *switching* yang berfungsi sebagai pemisah tegangan 5V dengan tegangan yang lebih besar yaitu 12V. Pada perancangan rangkaian *driver* ini agar diperoleh tegangan bolak-balik (AC) digunakan metode *full bridge inverter*. Dimana pada rangkaian *driver* ini menggunakan empat buah MOSFET. Prinsip kerja dari metode *full bridge* mempunyai dua siklus yang ditunjukkan dalam Gambar 10.

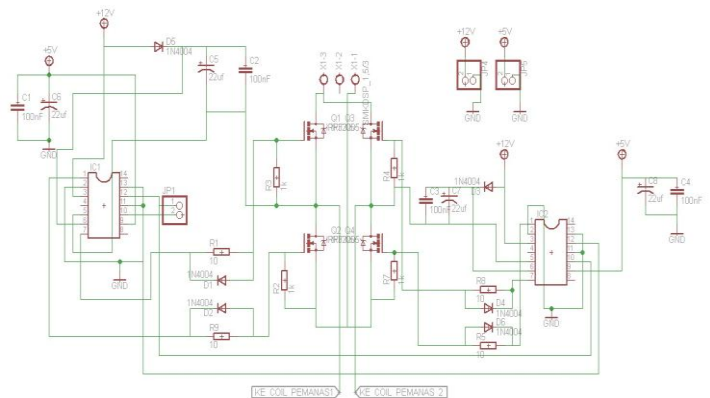
Dalam perancangan *full bridge* inverter kali ini menggunakan dua buah IC IR2110 sebagai *driver* rangkaian *switching*. Schematic rangkaian *driver* rangkaian *switching* ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 10 Siklus Kerja Metode *Full Bridge* Inverter

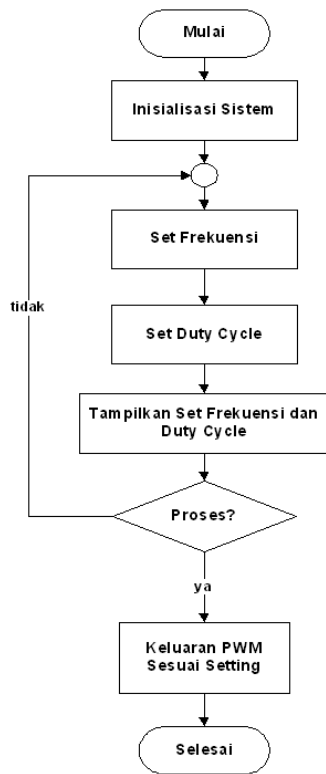
D. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan algoritma program utama yaitu membangkitkan frekuensi dan *duty cycle* sesuai *setting* dari keypad. Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 11 Schematic Rangkaian *Driver Switching*

Proses ke-1 diagram alir program utama adalah inisialisasi sistem port yang digunakan. Proses ke-2 adalah memasukkan *setting* frekuensi dan *duty cycle* yang kemudian hasil *setting* frekuensi dan *duty cycle* ditampilkan pada lcd. Proses ke-3 adalah menentukan apakah setpoint yang sudah di *setting* sebelumnya akan diproses atau tidak. Jika tidak diproses maka program akan kembali memasukkan tampilan *setting* frekuensi dan *duty cycle*. Apabila diproses maka program akan melakukan perhitungan dengan mode *Fast PWM TOP ICR*. Rumus untuk perhitungan nilai register ICR, OCR1A dan OCR1B.



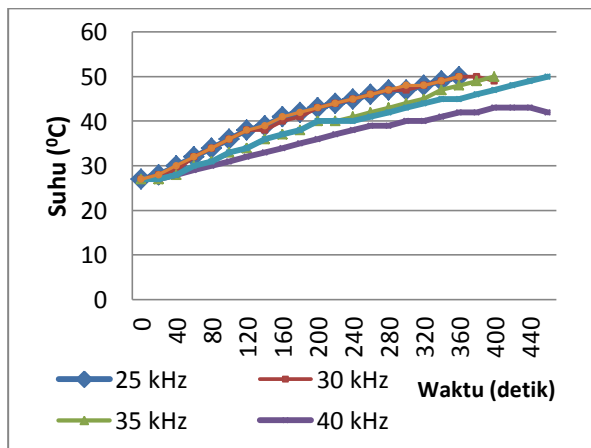
Gambar 12 Diagram Alir Program Utama

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Pemanas Induksi

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran lama pencapaian suhu 50°C pada pemanas induksi dengan mengubah variabel frekuensi. Pada saat dilakukan perubahan frekuensi, nilai *duty cycle* dibuat tetap. Lama waktu pencapaian 50°C akan dapat digunakan untuk menentukan besarnya energi kalor yang dibutuhkan pada pemanasan tersebut sesuai persamaan (2-11). Selanjutnya efisiensi energi juga akan bisa dihitung nilainya pada beberapa nilai frekuensi.

Data hasil pengujian pemanas induksi dengan perubahan frekuensi dapat dilihat pada Tabel II dan Gambar 13 berikut ini.

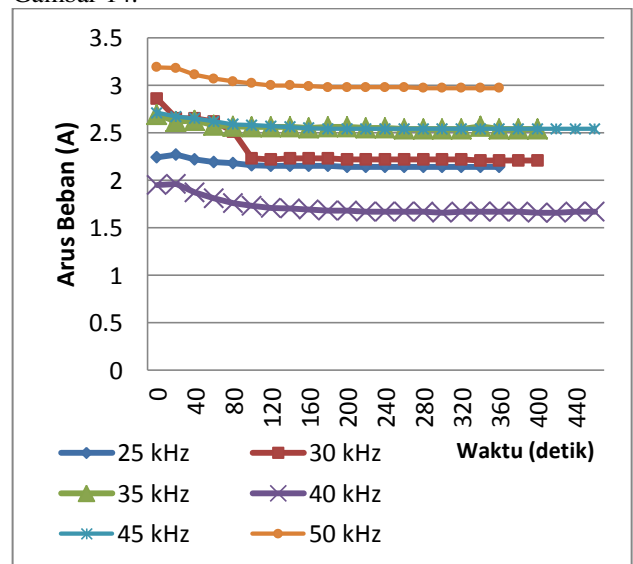


Gambar 13 Grafik pencapaian suhu pada fungsi waktu di beberapa frekuensi

Tabel II Pengujian Pemanas Induksi pada *duty cycle* 50 dengan perubahan frekuensi

No	Waktu (s)	Frekuensi 25kHz			Frekuensi 30kHz			Frekuensi 35kHz			Frekuensi 40kHz			Frekuensi 45kHz			Frekuensi 50kHz		
		I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)	I (A)	V (V)	T ($^{\circ}\text{C}$)
1.	0	2.24	2.69	27	2.86	9.9	27	2.69	7.9	27	2.95	5.4	27	2.71	24	27	3.19	29	27
2.	20	2.27	8.1	28	2.65	5.5	28	2.62	5.7	27	1.96	0.7	27	2.67	16	27	3.18	5.6	28
3.	40	2.22	4.1	30	2.65	4.1	29	2.63	5.3	28	1.87	0.8	28	2.65	5.2	28	3.11	13	30
4.	60	2.19	3.6	32	2.62	3.7	32	2.58	4.4	30	1.81	0.1	29	2.62	4.6	30	3.07	5.1	32
5.	80	2.18	3.5	34	2.51	3.7	34	2.57	4.5	31	1.76	0.9	30	2.59	4.4	31	3.04	4.7	34
6.	100	2.16	3.8	36	2.23	3.8	36	2.56	4.4	33	1.73	0.9	31	2.58	4.8	33	3.02	4.8	36
7.	120	2.15	3.7	38	2.22	3.7	38	2.56	3.9	34	1.71	0.2	32	2.57	3.9	34	3.00	4.9	38
8.	140	2.15	3.6	39	2.23	3.7	38	2.56	3.8	36	1.70	0.1	33	2.56	3.6	36	3.00	4.6	39
9.	160	2.15	3.8	41	2.23	3.6	40	2.55	3.8	37	1.69	0.8	34	2.55	3.7	37	2.99	4.5	41
10.	180	2.15	3.5	42	2.23	3.4	41	2.56	4.1	38	1.68	0.1	35	2.54	4.4	38	2.98	4.8	42
11.	200	2.14	3.7	43	2.22	3.4	43	2.56	3.8	40	1.68	0.8	36	2.54	4.2	40	2.98	4.7	43
12.	220	2.14	3.6	44	2.22	3.5	44	2.55	3.9	40	1.67	0.9	37	2.54	4.1	40	2.98	4.5	44
13.	240	2.14	3.5	45	2.22	3.4	45	2.55	3.8	41	1.67	0.1	38	2.54	9.8	40	2.98	4.5	45
14.	260	2.14	3.5	46	2.22	3.4	46	2.54	3.8	42	1.67	0.8	39	2.54	4.4	41	2.98	4.8	46
15.	280	2.14	3.7	47	2.22	3.4	47	2.54	3.8	43	1.67	0.9	39	2.54	4.2	42	2.97	4.5	47
16.	300	2.14	3.7	47	2.22	3.4	47	2.54	4.1	44	1.66	0.8	40	2.54	4.1	43	2.97	5.0	48
17.	320	2.14	3.8	48	2.22	3.5	48	2.54	3.9	45	1.67	0.9	40	2.54	4.2	44	2.97	4.9	48
18.	340	2.14	3.7	49	2.21	3.4	49	2.57	3.8	47	1.67	0.8	41	2.54	4.4	45	2.97	4.5	49
19.	360	2.14	3.8	50	2.21	3.4	50	2.54	3.8	48	1.67	0.8	42	2.54	4.1	45	2.97	4.7	50
20.	380	-	-	-	2.21	3.6	50	2.54	4.2	49	1.67	0.8	42	2.54	4.4	46	-	-	-
21.	400	-	-	-	2.21	3.4	49	2.54	3.9	50	1.66	0.8	43	2.54	4.3	47	-	-	-
22.	420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.66	0.8	43	2.54	4.6	48	-	-	-
23.	440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	0.8	43	2.54	4.3	49	-	-	-
24.	460	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.67	0.8	42	2.54	4.3	50	-	-	-

Perubahan arus beban terhadap waktu disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik arus beban pada fungsi waktu di beberapa frekuensi

Penghitungan besarnya daya dan energi elektrik dari pemanas induksi pada beberapa nilai frekuensi kerja dapat dilihat pada Tabel III. Daya pada masing-masing waktu didapatkan dengan mengalikan tegangan dan arus yang terbaca pada alat ukur. Energi rata-rata didapatkan dengan mengalikan lama waktu pemanas induksi bekerja dengan rata-rata daya dari awal hingga pada waktu tersebut.

Tabel III Penghitungan daya dan energi elektrik dari hasil pengujian pemanas induksi

No.	Waktu (s)	P 25 kHz (watt)	Energi L rata-rata 25 kHz (J)	P 30 kHz (watt)	Energi L rata-rata 30 kHz (J)	P 35 kHz (watt)	Energi L rata-rata 35 kHz (J)	P 40 kHz (watt)	Energi L rata-rata 40 kHz (J)	P 45 kHz (watt)	Energi L rata-rata 45 kHz (J)	P 50 kHz (watt)	Energi L rata-rata 50 kHz (J)
1	0	6.02	-	28.31	-	21.25	-	15.92	-	65.04	-	92.51	-
2	20	18.3	244.12	14.57	428.89	14.93	361.85	1.37	119.02	42.72	1077.6	17.80	1103.18
3	40	9.10	446.86	10.86	716.72	13.93	668.32	1.49	178.64	13.78	1620.53	40.43	2009.97
4	60	7.88	620.97	9.69	951.72	11.35	922.14	0.18	203.68	12.05	2003.88	15.65	2496.07
5	80	7.63	784.45	9.28	1163.76	11.56	1168.65	1.58	242.60	11.39	2319.80	14.28	2891.08
6	100	8.20	953.94	8.47	1353.48	11.26	1405.08	1.55	278.66	12.38	2622.86	14.49	3253.15
7	120	7.95	1117.57	8.21	1532.96	9.98	1616.38	0.34	292.49	10.02	2869.62	14.7	3598.097
8	140	7.74	1276.30	8.25	1709.29	9.72	1820.29	0.17	301.56	9.21	3090.69	13.8	3914.55
9	160	8.17	1441.80	8.02	1879.14	9.69	2021.45	1.35	330.38	9.43	3307.48	13.45	4215.89
10	180	7.52	1595.27	7.58	2039.11	10.49	2235.65	0.16	337.53	11.17	3549.99	14.30	4526.06
11	200	7.91	1755.35	7.54	2196.94	9.72	2435.10	1.34	365.38	10.66	3779.81	14.00	4826.43
12	220	7.70	1911.22	7.77	2357.70	9.94	2637.72	1.50	395.98	10.41	4002.24	13.41	5112.50
13	240	7.49	2062.86	7.54	2513.53	9.69	2835.06	0.16	401.83	24.89	4489.77	13.41	5395.82
14	260	7.49	2221.424	7.54	2668.67	9.65	3031.19	1.33	429.03	11.17	4724.05	14.30	5693.59
15	280	7.91	2373.40	7.54	2823.25	9.65	3226.90	1.50	459.29	10.66	4947.41	13.36	5972.26
16	300	7.91	2532.46	7.54	2977.38	10.41	3436.57	1.32	486.24	10.41	5164.76	14.85	6277.36
17	320	8.13	2695.46	7.77	3135.32	9.90	3636.51	1.50	516.44	10.66	5385.82	14.55	6575.92
18	340	7.91	2854.38	7.51	3288.14	9.76	3833.61	1.33	543.47	11.17	5615.62	13.36	6851.20
19	360	8.13	3017.30	7.51	3440.69	9.65	4028.36	1.33	570.46	10.41	5830.33	13.95	7136.90
20	380	-	-	7.95	3601.41	10.66	4242.24	1.33	597.43	11.17	6058.87	-	-
21	400	-	-	7.51	3753.56	9.90	4441.56	1.32	624.22	10.92	6282.09	-	-
22	420	-	-	-	-	-	-	1.32	651	11.68	6519.43	-	-
23	440	-	-	-	-	-	-	1.33	677.90	10.92	6741.87	-	-
24	460	-	-	-	-	-	-	1.33	704.79	10.92	6963.97	-	-

Perbandingan daya perhitungan dan pengujian pada masing- masing frekuensi disajikan pada tabel IV.

Tabel IV Daya rata-rata hasil pengujian dan perhitungan pada beberapa frekuensi

Jenis Daya (P)	P rata-rata Pada 25 kHz (Watt)	P rata-rata Pada 30 kHz (Watt)	P rata-rata Pada 35 kHz (Watt)	P rata-rata Pada 40 kHz (Watt)	P rata-rata Pada 45 kHz (Watt)	P rata-rata Pada 50 kHz (Watt)
Pengujian	8.3814	9.38390	11.1039	1.7572	15.705	19.825
Perhitungan	6.08	8.76	11.93	15.58	19.71	24.34

Besarnya energi kalor dihitung berdasarkan Persamaan (3) dan besarnya efisiensi energi dihitung berdasarkan Persamaan (4). Hasilnya dapat dilihat pada tabel V berikut ini.

Tabel V Penghitungan Energi Kalor dan Efisiensi energi

No.	Frekuensi (kHz)	Suhu yang dicapai ($^{\circ}\text{C}$)	Waktu pencapaian suhu (detik)	Daya Rata-rata (watt)	Energi Elektrik (joule)	Energi Kalor (joule)	Efisiensi Energi (%)
1	25	50	360	8.381	3017.3	1155.557	38.297659
2	30	50	400	9.383	3753.56	1155.557	30.785622
3	35	50	400	11.10	4441.56	1155.557	26.016913
4	40	42	460	1.757	808.312	753.624	93.23429
5	45	50	460	15.70	7224.3	1155.557	15.995415
6	50	50	360	19.82	7137	1155.557	16.191072

V. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian pemanas induksi ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Pembuatan pemanas induksi dengan memanfaatkan arus eddy sebagai akibat dari induksi elektromagnetik dari pancake coil berhasil dilakukan dan digunakan untuk pengujian pada beberapa nilai frekuensi kerja.
- Perubahan frekuensi kerja pada pemanas induksi memiliki pengaruh pada waktu pencapaian panas, besarnya daya, besarnya energi elektrik, dan besarnya efisiensi energi. Naiknya frekuensi kerja mendekati 40 kHz membuat waktu pencapaian suhu relatif lebih lama dan setelah melewati 40 kHz menjadi relatif lebih cepat. Kenaikan frekuensi kerja diikuti dengan kenaikan daya dan hal ini sesuai dengan Persamaan (1).
- Efisiensi energi cenderung menurun mendekati frekuensi kerja 40 kHz dan cenderung naik kembali setelah melewati frekuensi kerja tersebut. Anomali terjadi pada frekuensi kerja 40 kHz di mana suhu saturasi di 43°C namun daya yang digunakan sangat kecil dan efisiensi energinya mendekati 100%. Penulis belum melakukan penelitian lebih lanjut tetapi hal ini disinyalir akibat terjadinya resonansi di frekuensi 40 kHz.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Davies, Evan John. 1979. Induction Heating Handbook. McGraw-Hill Book Company. Maiden Lead, Berkshire, England.
- [2] Fairchild. 2000. Application Note AN-9012: Induction Heating System Topology Review. Fairchild Semiconductor Corporation.
- [3] Liozinski, M.G. 1969. Industrial Application of Induction Heating. London : Pergoman Press.
- [4] Nacke, Bernard. 2000. Induction Heating Fundamental. Institute of Electrotechnology Leibniz University of Hanover . Jerman
- [5] Tipler, P.A. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik-Jilid I (terjemahan). Jakarta. Penerbit : Erlangga.
- [6] Ridho'I, Ahmad. 2008. Induksi Panas dari Frekuensi Tinggi Pengganti Pemanas. Jurnal Sain dan Teknologi. 6,149-158.
- [7] Sawhney, A.K. 1990. A Course In Electrical Machine Design. Dhanpat Rai & Sons. Delhi.
- [8] Semiati, Lee dan D.E. Stutz. 1986. Induction Heat Treating of Steel. American
- [9] Smith, William F. 1990. Principles of material Science and Engineering. Second Edition. McGraw-Hill Publishing Company. Singapore.
- [10] Zinn, Stanley dan Lee Semiati. 1988. Elements of Induction Heating - Design, Control and Applications. ASM International. Ohio, USA.

PUBLIKASI JURNAL ILMIAH
PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PEMANAS INDUKSI
DENGAN METODE PANCAKE COIL BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535



DISUSUN OLEH:
YUKOVANY ZHULKARNAEN
NIM. 0810630105 - 63

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2013

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PEMANAS INDUKSI
DENGAN METODE PANCAKE COIL BERBASIS
MIKROKONTROLLER ATMEGA 8535
PUBLIKASI JURNAL ILMIAH**

Disusun oleh:

**YUKOVANY ZHULKARNAEN
NIM. 0810630105 - 63**

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing :

Dosen Pembimbing I

**Ir. Wijono, MT., Ph.D
NIP. 19621111 198903 1 003**

Dosen Pembimbing II

**Drs. Ir. Moch Dhofir, MT
NIP. 19600701 1999002 1 001**